

Talajlégzés vizsgálata a kiskunsági homoki erdőssztyepp ökoszisztémában

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Lelleiné Kovács Eszter

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi Kar, Biológiai Intézet

BIOLÓGIA DOKTORI ISKOLA

ÖKOLÓGIA, KONZERVÁCIÓBIOLÓGIA ÉS SZISZTEMATIKA PROGRAM

A Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Erdei Anna, akadémikus, egyetemi tanár

Programvezető: Prof. Dr. Podani János, akad. lev. tag, egyetemi tanár

Témavezető: Prof. Hab. Kovácsné Dr. Láng Edit, tudományos tanácsadó



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet

VÁCRÁTÓT

2011

1. Tudományos előzmények és célkitűzés

A talajlégzés a fotoszintézis mellett Földünk egyik legjelentősebb szén-dioxid árama a bioszféra és a légkör között. A légkör és a talajok közötti kapcsolatrendszer azonban biomról biomra, ökoszisztémáról ökoszisztémára más-más képet mutat. A fátlan, valamint az átmeneti jellegű, mozaikos felépítésű ökoszisztémák szénforgalmának jelentősége abban rejlik, hogy a jóslott éghajlati, valamint egyéb globális (pl. tájhasználati) változások iránt igen nagy érzékenységet mutatnak. Ezen élőhelyek az aktuális időjárástól, valamint a tájhasználattól függően nemcsak szénelnyelők lehetnek, de akár szénforrásokká is válhatnak. Másfelől ezek az ökoszisztémák rendszerint gyakori és nagymértékű időjárási ingadozásoknak vannak kitéve, így az ilyesfajta ingadozásokkal szemben magasabb adaptív képességgel rendelkeznek (COLLINS és mtsai 2008).

A jelen tanulmányban vizsgált kiskunsági homoki erdőssztyepp vegetáció is ezen átmeneti élőhelyek közé tartozik (FEKETE & VARGA 2006), amelyre szélsőséges környezeti viszonyok jellemzők, mind a nagy hőmérsékleti ingadozásokat, mind a homoktalaj gyakori nyári kiszáradását, mind az igen alacsony szervesanyag-tartalmat tekintve. Ezen ökoszisztéma, a maga hierarchikusan mozaikos vegetáció-szerkezetével, az európai Pannon Ökorégió biológiai sokféleségének megőrzésében kulcsszerepet játszik (KOVÁCS-LÁNG és mtsai 2000). A Pannon régióban a hőmérséklet emelkedése mellett, elsősorban a vegetációs időszakban, a csapadék csökkenése várható (MIKA 2003). Ennek megfelelően a Fülöpháza melletti fehér nyár cserjés homokpusztagyep foltban az EU FP5 VULCAN projekt keretében felállított, klímaváltozást szimuláló kísérleti területünkön (BEIER és mtsai 2004) már 2003 óta vizsgálom a talajlégzés változásait a passzív éjszakai melegítés, valamint a vegetációs időszakban alkalmazott csapadék-kizárás hatására. A fűlszáraz klíma nagy hőmérsékleti változatosságát és nedvesség-ingadozásait még tovább fokozták az általunk folytatott klímaszimulációs kísérlet hő- és szárazságkezelései, mindez kiváló alkalmat teremtve a talajlégzés tanulmányozására a környezeti tényezők igen széles skáláján. Disszertációmban a 2003-2008 között végzett talajlégzés vizsgálataim, és az ezekhez kapcsolódó egyéb kutatásaim eredményeit mutatom be. Munkám fő célkitűzése az volt, hogy a Pannon homoki erdőssztyepp fehér nyár cserjés tájmozaikjában meghatározzam a talajlégzésre ható fő környezeti tényezőket, és ezen ökoszisztéma széndioxid-kibocsátását modellezem. Mivel az ilyen típusú száraz ökoszisztémák szénforgalmáról, és azon belül különösen talajlégzéséről, igen kevés adat áll rendelkezésre (BALOGH és mtsai 2011), kutatásaim nagyban hozzájárulhatnak ezen élőhelyek jobb megismeréséhez. Ezen felül vizsgálataim során igen széles hőmérsékleti tartományban, változatos nedvességszintek között dolgozhattam, ami lehetővé tette a környezeti tényezők nagy változatosságának, valamint a klímaváltozás várható hatásainak a tanulmányozását. Bár az

erdőssztyepp általam vizsgált mozaikjának szénforgalma viszonylag kis mértékű, éppen átmeneti helyzete, illetve időjárástól függően szénelnyelő vagy szénkibocsátó volta miatt igen érzékeny a külső hatásokra, körülményekre, és így működésére jelentős hatással lehetnek az elkövetkezendő időszakok klimatikus, illetve tájhasználatbeli változásai.

Célkitűzéseim a 2003-2008 között folytatott hatéves vizsgálat alapján következők:

1. A talajlégzés intenzitásának számszerűsítése a kiskunsági félszáraz homoki erdőssztyepp egy fehér nyár cserjés (*Populus alba* L.) és magyar csenkesz (*Festuca vaginata* W. et K.) gyeppel uralt mozaikjában.
2. A CO₂ kibocsátás napi, évszakos és éves menetének leírása.
3. A térségre előrejelzett klímaváltozás alapján alkalmazott hő- és szárazságkezelés hatásának vizsgálata terepi kísérletben.
4. A vizsgált rendszer talajaktivitásának leírása mikrobiális biomassza-vizsgálatok alapján.
5. Az éves csapadék, az éves avar mennyiség és a talajlégzés összefüggéseinek vizsgálata.
6. Olyan empirikus modell kidolgozása, amelyben a talaj CO₂ kibocsátására vonatkozóan mind a hőmérséklet, mind a talajnedvesség hatásai és interakciói benne foglaltatnak.
7. A talaj éves CO₂ kibocsátásának becslése a homoki erdőssztyepp fehér nyár cserjés mozaikjában különböző empirikus modellek használatával.
8. A talajlégzés várható változásainak, a változások irányának és mértékének előrejelzése a homoki erdőssztyepp fehér nyár cserjés állományaira vonatkozóan a jósolt regionális klímaváltozás fényében.

2. Anyag és módszerek

A Pannon homoki erdőssztyepp vizsgált fehér nyár cserjés állományának homoki gyeppel alkotott finom mozaikjában uralkodó fajok a lombhullató klonális fásszárú fehér nyár (*Populus alba* L.) és az évelő C₃-as fű, a magyar csenkesz (*Festuca vaginata* W. et K.). A homok váztalaj (*Calcaric arenosol*, FAO) igen szegény szervesanyagban (<1%), és szélsőséges a víz- és hőháztartása. A vizsgált régióban az évi középhőmérséklet 10,4°C, az éves csapadék 505 mm (harminc éves átlag 1961 - 1990). A havi középhőmérséklet januárban a legalacsonyabb (-1,9°C) és júliusban a legmagasabb (21,1°C), míg a vegetációs periódus (áprilistól októberig) átlaga 16,4°C. A legtöbb csapadék júniusban jellemző (72,6 mm), melyet többnyire nyár közepi aszály követ, majd az őszi ismét csapadékosra fordul (OMSZ 2001). Ezzel a környezeti mintázattal párhuzamosan a domináns évelő magyar csenkesz élettani aktivitása éves szinten egy május-júniusi, és egy nyári szárazságot követő szeptemberi csúcsot mutat (KOVÁCS-LÁNG 1974), míg a fehér nyár aktivitása a vegetációs időszakban folyamatos, ami a mélyre hatoló

gyökérzetének és a klonális kapcsolatainak köszönhető (KRÍZSIK & KÖRMÖCZI 2000). Az alacsony téli hőmérsékletek téli nyugalmi időszakot idéznek elő a vegetációban. Így az élővilág ebben a mérsékeltövi, szemiárid klímában mind az alacsony téli hőmérsékletéhez, mind a nyári vízhiányhoz alkalmazkodott.

Az EU FP5 keretprogram VULCAN Projektjében (BEIER és mtsai 2004) a Kiskunsági Nemzeti Park területén 2001-től klímaszimulációs kísérletet állítottunk be egy fehér nyár cserjés nyílt homokpusztagyepi állományban. Itt a régióban előrejelzett klímaváltozást szimuláljuk kísérletesen, 4 m × 5 m méretű parcellákban, egész éven át tartó passzív hőkezelést, illetve május-júniusban csapadékkizárást alkalmazva. A talajlégzés mérését 2003 májusától, havi rendszerességgel végeztem a vegetációs időszakban, nappal és a hajnali órákban, nyílt rendszerű infravörös gázanalizátorral (ADC Leaf Chamber Analyzer 4, ADC BioScientific, Hoddesdon, U.K.). A talajlégzéssel egyidejűleg a kamrába szerelt talajhőmérő segítségével a talaj hőmérsékletét 1 cm mélységben, valamint azonos mérőhelyeken a talajnedvességet a 0-11 cm talajrétegben, hordozható TRIME-FM TDR szondával (IMKO Micromoduletechnik, Ettlingen, Germany) szintén regisztráltam, valamint felhasználtam az 1 km távolságban lévő szabványos meteorológiai állomás adatait is. A kezelés-hatások statisztikai értékelésének alapjául a parcella átlagok szolgáltak, kezelésként három ismételtsben ($n = 3$). Az időszakok és a kezelések hatását a talajlégzésre Repeated Measures ANOVA teszttel értékeltem ki, melyet Tukey post hoc tesztek követtek az átlagok összehasonlítására. A hajnali és a nappali adatokat külön elemeztem, kivéve a talajnedvesség esetében, ahol csak a nappali adatokat használtam. A szórás homogenitásának javítása érdekében a talajlégzés adatokat log-transzformáltam. A reziduálisok normalitását quantile-quantile plot segítségével ellenőriztem.

A mikrobiális biomassza-vizsgálatok céljából talajmintákat 2004-ben és 2005-ben vettem. A mikrobiális biomassza C- és N-tartalmának vizsgálata ezeken a mintákon az MTA Talajtani Kutatóintézetének (TAKI) laboratóriumában folyt, kloroform fumigációs extrakciós, valamint szubsztrát indukált respirációs módszerrel. Az éves avar mennyiség túlnyomó részét a *Populus alba* levél- és ágavarja teszi ki. Ezt a kísérleti parcellákban elhelyezett avargyűjtő szitából gyűjtöttem be adott év novemberében vagy decemberében, az avarhullás befejeződésével, majd légszáraz állapotban lemértem, és ebből számítottam ki a területegységre vetített avar mennyiségeket. A vizsgált terület domináns növényeinek avarbomlási vizsgálatához a nylonhálós zacskós módszert alkalmaztuk, a nylonhálós zacskók felszedése 2, 6, 12 és 24 hónapos inkubációs idő után történt meg. Az avarbomlás sebességét az egymás után beszedett avarminták súlycsökkenéséből, a kiindulási súlyok százalékában becsültem. A talaj évi átlagos CO₂ kibocsátásának az éves csapadékkal, illetve az évente keletkezett avar mennyiséggel való összefüggéseit lineáris regresszió-vizsgálattal elemeztem. A klímaszimulációs kezeléseknél

(kontroll, hőkezelés, szárazságkezelés) és a vizsgált éveknek (2004 és 2005), valamint a klíma-szimulációs kezeléseknél és a vizsgált talajmélységnek (0-10 cm és 10-20 cm) a mikrobiális biomassza mennyiségére vonatkozó hatásait páronként kétféle varianciaanalízissel (ANOVA) vizsgáltam, míg a parcellák random faktorként szerepeltek.

A hatéves adatsorra illeszkedő empirikus modell kidolgozásánál, amelyben a talajlégzés hő- és nedvesség-érzékenységét modelleztem, szintén a parcellaátlagok a statisztikai elemzés alapegységei. Itt azonban nem a kezelésnek, hanem a környezeti faktorok közvetlen hatásának a vizsgálata volt a cél, így a regressziós elemzésekben minden időpontban minden parcella respirációs, talajhőmérsékleti és talajnedvesség adatai egyaránt szerepelnek. A talajlégzés hőmérsékletfüggésére az exponenciális (VAN'T HOFF 1898), a Gauss (O'CONNELL 1990) és a Lloyd-Taylor (LLOYD & TAYLOR 1994) modellt illesztettem. A talajnedvesség-tartalom hatását a talajlégzésre három különböző hipotézis alapján elemeztem:

1. a talajnedvesség-tartalomnak nincs hatása,
2. a talajnedvesség-tartalom és a talajhőmérséklet hatása additív,
3. a talajnedvesség-tartalom és a talajhőmérséklet között interakció áll fenn.

A három hőmérséklet-függvényt a talajnedvesség hatásának háromféle megközelítésével kombinálva kilenc modellt állítottam elő. Mivel a talajnedvesség-hatás függvényének alakjáról semmiféle előzetes tudás nem áll rendelkezésre, ezért a talajnedvességet kategóriális változóként kezeltem. A talajnedvesség-kategóriák megállapításához feltételes döntési keretrendszert használtam, mely az alkalmazott hőmérséklet-függvénytől függően eredményezett különböző töréspontokat a talajnedvességben. A különböző számú paramétert tartalmazó talajlégzés-modellek összehasonlításához az Akaike Information Criteria (AIC) értéket használtam, ami kombinálja a modellek illeszkedésének jóságát és komplexitását. Adott hőmérséklet-modellen belül a nedvesség-modellek összehasonlítását páronként végeztem, a kiértékelés F-tesztel történt. A modellek összehasonlításához elvégeztem a modellek paramétereire a becslést a hatéves adatsor alapján, majd minden egyes modell szerint kiszámítottam a kibocsátott éves széndioxid-mennyiséget.

3. Tézisek

1. A kiskunsági félszáraz homoki erdőssztyepp fehér nyár cserjés és magyar csenkesz gyep uralta mozaikjában a talajlégzés intenzitása más ökoszisztémákhoz viszonyítva igen alacsonynak számít – a mérések hat éve alatt $0,09$ és $1,94 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ között mozgott.
2. A CO_2 kibocsátás középtérteke szignifikánsan változott az évek, hónapok és napszakok szerint. A legmagasabb értéket 2008 szeptemberében, míg a legalacsonyabbat a különösen

- meleg és száraz 2003-as év nyarán mértem. A talajlégzés évszakos mintázata téli hő- és nyári nedvesség-limitációt mutatott minden kezelésben. A napi menetben hajnalban többnyire alacsonyabb talajlégzés értékek jellemzők, mint nappal.
3. A térségre előrejelzett klímaváltozás alapján alkalmazott hő- és szárazságkezelések a mérés időpontjától függően mutattak hatást a talajlégzésre. A talajlégzés mindkét kezelés hatására csökkent a kontrollhoz képest, de csak a szárazságkezelés hatása volt szignifikáns.
 4. A mikrobiális biomassza-vizsgálatok alapján a kezelések hatása sem a mikrobiális széntartalomban, sem a nitrogén-tartalomban nem volt szignifikáns, de jelentős különbség adódott a talaj felső 10 cm-es és a 10-20 cm-es rétegeiben mért mikrobiális biomassza mennyiségekben, ami összefüggést mutat a talaj szervesanyag-tartalmában lévő eltérésekkel. A 2004. és 2005. év adatait összehasonlítva előbbiben szignifikánsan alacsonyabb a mikrobiális biomassza széntartalom, ami a 2003-as év extrém szárazságát követő 2004-es év alacsony produktivitásának lehet a következménye.
 5. A vegetációs időszak átlagos CO₂ kibocsátása sem a fehér nyár avarjának mennyiségével, sem a vegetációs időszakban lehullott csapadék mennyiségével nem mutatott összefüggést, azonban a vegetációs időszakban (április-október) hullott csapadék és a következő évben képződött avar mennyiségét összevetve szignifikáns összefüggés adódott. Vagyis a levélprodukció az előző év csapadékvizszoynaival mutat szoros kapcsolatot.
 6. Az exponenciális, a Lloyd-Taylor és a Gauss hőmérséklet-függvényeket összehasonlítva a vizsgált hatéves adatsorra a Gauss-függvény illeszkedett a legjobban. Jelentősen javította az illeszkedést, amikor a talajnedvességet interaktív prediktorként, kategoriális változóként vontam be a modellbe. Ebben a modellben a CO₂ kibocsátás optimális hőmérséklete 35°C körül van, míg a talajnedvesség küszöbértékei (0,6, 4,0 és 7,0 Vol%) megegyeznek a biológiai aktivitás ismert határértékeivel ebben a durva homoktalajban.
 7. A talaj éves CO₂ kibocsátása a fenti modellekkel becslülve 123-140 g C m⁻² év⁻¹ között mozgott a vizsgált hat év átlagát tekintve, ami igen alacsony értéknek számít. Az általánosan használt, nedvességhatás figyelembevétele nélkül alkalmazott exponenciális hőmérséklet-függvény, valamint a statisztikailag legjobbnak adódott, interaktív nedvességhatással számított Gauss-függvény becslése között 9,8% volt a különbség. Ez a különbség az extrém száraz és meleg 2003-ra 15,4%, az átlagos 2005-ös évre 7,4%-nak adódott.
 8. A talajlégzés várható változásait a jósolt regionális klímaváltozás fényében a szélsőségesen száraz és forró nyarú 2003-as, valamint az átlagos 2005-ös évekre vonatkozó modellbecslések összehasonlításával közelítettem meg. A Gauss-moddellel interaktív talajnedvesség-hatás mellett végzett számítások alapján, amely modell a legjobb illeszkedést

adta a vizsgált adatsorra, 6,5% csökkenésre lehet számítani az éves széndioxid-kibocsátásban, a szélsőséges szárazság rövid távú hatásaként.

4. Következtetések

A Kiskunságban alacsony szervesanyag-tartalmú homoktalajon, félszáraz, mérsékeltövi erdőssztyepp ökoszisztémában folytatott hatéves terepi kísérletben a talajlégzés mértéke igen alacsony volt (BALOGH és mtsai 2011), és mind az egész éven át zajló éjszakai melegítés, mind a vegetációs periódus csúcán történt csapadékkizárás hatására csökkenést mutatott. A harmatképződés hőkezeléssel járó csökkenése rámutatott arra, hogy a hőmérséklet emelkedése erősíteni fogja a szárazság szénforgalomra gyakorolt hatását ebben az ökoszisztémában.

Mind a talajlégzés időbeli változásai, mind hőmérséklet- és nedvesség-függése arra utalnak, hogy a mikrobiális aktivitást – legalább az évnek bizonyos szakaszaiban – a szubsztrátok hiánya, illetve csökkent hozzáférhetőségük korlátozhatja. Adott év csapadékmennyisége erősen befolyásolja a fejlődő hajtások mennyiségét, melyek a következő évben kialakuló aktív zöldtömeg, majd az abból keletkező avar mennyiségére lesznek hatással, amit az éves csapadék és a következő évi fehér nyár avar mennyisége közötti összefüggés jól mutat. Hasonló következtetésre jutottak THOMEY és mtsai (2011), akik egy észak-amerikai sivatagi ökoszisztéma vizsgálatakor állapítottak meg összefüggést az éves csapadékmennyiség, és a domináns fű következő évi felszín feletti nettó primer produkciója között.

A gyakorta szélsőségesen száraz körülmények ellenére a talajlégzés a vizsgált félszáraz erdőssztyeppben is elsősorban hőmérsékleti kontroll alatt áll. Ez arra utal, hogy a talajlakó szervezetek jól adaptálódtak a száraz körülményekhez. Ráadásul a hőmérséklet széles tartománya ebben az ökoszisztémában önmagában is alapvető hatást fejt ki a talajfolyamatokra. Bár a talajlégzés és a talajhőmérséklet között általánosan használt exponenciális összefüggés (VAN'T HOFF 1898) az általam vizsgált erdőssztyepp ökoszisztémában is szignifikáns volt, azt találtam, hogy a Lloyd-Taylor függvény (LLOYD & TAYLOR 1994), és különösen a Gauss-függvény (O'CONNELL 1990) ez előbbinél jobban illeszkedik az adatokra. A hőmérséklet – talajlégzés függvények illeszkedésének jósága nagyban függ attól a hőmérsékleti tartománytól, amelyben az adatokat gyűjtötték, ezért találhatnak más vizsgálatokban, az általam mért széles hőtartománynál gyakran jóval szűkebb hőtartományban mért adatokra, általában jó exponenciális illeszkedést. A nedvesség hatása a talajlégzés hőérzékenységre igen bonyolult, és ezidáig megválaszolatlan kérdés. Vizsgálataim szerint a félszáraz homoki vegetáció-mozaikban jól detektálható küszöbértékek voltak megfigyelhetők a talajlégzésre ható talajnedvességben. Több szerző figyelt már meg nedvesség küszöbértékeket különböző ökoszisztémákban, amin túl

a talajlégzés hőérzékenysége megváltozott (DAVIDSON és mtsai 1998, REICHSTEIN és mtsai 2002). A küszöbértékek feltehetően közösség-specifikusak, mivel a vízellátottságot korlátozó tényezők (pl. a talaj fizikai, vagy a bióta élettani sajátosságai) a különböző élőhelyeken igen eltérők lehetnek.

A különböző modellekkel becsült éves CO₂ kibocsátási értékek, hasonlóan más alacsony produktivitású, félszáraz ökoszisztémához, igen alacsonyak voltak. Bár az eltérő modellbecslések alapján számított értékek viszonylag kevésbé különböznek egymástól, a becsült éves CO₂ fluxusok tendenciái azt mutatják, hogy a hagyományos exponenciális hőmérsékleti függvény használatával, illetve a talajnedvesség hatásának figyelmen kívül hagyásával, a talajlégzést felülbecsüljük, és a modell választás az egyre szélsőségebb körülmények között egyre fontosabbnak tűnik. Számításaim szerint a vizsgált adatsorra legjobb illeszkedést adó Gauss-moddellel, mely magában foglalja a hőmérséklet és a talajnedvesség interaktív hatásait, csökkenésre lehet számítani az éves széndioxid-kibocsátásban, a szélsőséges szárazság rövid távú hatásaként. Ugyanezt a tendenciát várhatjuk azonban hosszú távon is, a primer produkció, a mikrobiális talajaktivitás és a lebontó folyamatok növekvő korlátozottságának eredményeként. Ezek a trendek végül a teljes szénforgalom volumenének csökkenéséhez vezethetnek, sivatagosodást eredményezve.

5. Hivatkozott irodalom

- Balogh J., Pintér K., Fóti Sz., Papp M., Cserhalmi D., Nagy Z. (2011) Dependence of soil respiration on soil moisture, clay content, soil organic matter, and CO₂ uptake in dry grasslands. *Soil Biology & Biochemistry* **43**, 1006-1013.
- Beier C., Emmett B., Gundersen P., Tietema A., Peñuelas J., Estiarte M., Gordon C., Gorissen A., Llorens L., Roda F., Williams D. (2004) Novel approaches to study climate change effects on terrestrial ecosystems in the field: drought and passive nighttime warming. *Ecosystems* **7**, 583-597.
- Collins S.L., Sinsabaugh R.L., Crenshaw C., Green L., Porras-Alfaro A., Stursova M., Zeglin L.H. (2008) Pulse dynamics and microbial processes in aridland ecosystems. *Journal of Ecology* **96**, 413-420.
- Davidson E.A., Belk E., Boone R.D. (1998) Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology* **4**, 217-227.
- Fekete G., Varga Z. (szerk.) (2006) Magyarország tájainak növényzete és állatvilága. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest.
- Kovács-Láng E. (1974) Examination of dynamics of organic matter in a perennial open sandy steppe-meadow (*Festucetum vaginatae* danubiale) at the Csévharaszt IBP sample area (Hungary). *Acta Botanica Hungarica* **20**, 309-326.

- Kovács-Láng E., Kröel-Dulay Gy., Kertész M., Fekete G., Mika J., Rédei T., Rajkai K., Hahn I., Bartha S. (2000) Changes in the composition of sand grasslands along a climatic gradient in Hungary and implications for climate change. *Phytocoenologia* **30**, 385-407.
- Krizsik V., Körmöczy L. (2000) Spatial spreading of Robinia pseudo-acacia and Populus alba clones in sandy habitats. *Tiscia* **32**, 3-8.
- Lloyd J., Taylor J.A. (1994) On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology* **8**, 315-323.
- Mika J. (2003) Regionális éghajlati forgatókönyvek: tények és kétségek. (Regional climatic scenarios: facts and doubts.) In: Csete L. (ed.): "Agro-21" Füzetek **32**, 11-24.
- O'Connell A.M. (1990) Microbial decomposition (respiration) of litter in eucalypt forests of South-Western Australia: An empirical model based on laboratory incubations. *Soil Biology & Biochemistry* **22**, 153-160.
- OMSZ (2001) Magyarország Éghajlati Atlasza. *Országos Meteorológiai Szolgálat*, Budapest.
- Reichstein M., Tenhunen J.D., Rouspard O., Ourcival J.M., Rambal S., Miglietta F., Peressotti A., Pecchiari M., Tirone G., Valentini R. (2002) Severe drought effects on ecosystem CO₂ and H₂O fluxes at three Mediterranean evergreen sites: revision of current hypotheses? *Global Change Biology* **8**, 999-1017.
- Thomey M.L., Collins S.L., Vargas R., Johnson J.E., Brown R.F., Natvig D.O., Friggens M.T. (2011) Effect of precipitation variability on net primary production and soil respiration in a Chihuahuan Desert grassland. *Global Change Biology* **17**, 1505-1515.
- van't Hoff J.H. (1898) Lectures on theoretical and physical chemistry. Part I. Chemical dynamics. *Edward Arnold*, London., pp. 224-229.

6. Az értekezés témakörében megjelent további közlemények

Referált tudományos folyóiratban megjelent dolgozatok

- Lellei-Kovács E.**, Kovács-Láng E., Botta-Dukát Z., Kalapos T., Emmett B., Beier C. (2011): Thresholds and interactive effects of soil moisture on the temperature response of soil respiration. *European Journal of Soil Biology* **47**, 247-255.
- Beier C., Emmett B., Tietema A., Schmidt I., Penuelas J., Kovacs-Lang E., Duce P., de Angelis P., Gorissen A., Estiarte M., de Dato G.D., Sowerby A., Kröel-Dulay G., **Lellei-Kovács E.**, Kull O., Mand P., Petersen H., Gjelstrup P., Spano D. (2009): Carbon and nitrogen balances for 6 shrublands across Europe. *Global Biogeochemical Cycles* **23**, GB4008.
- Lellei-Kovács E.**, Kovács-Láng E., Kalapos T., Botta-Dukát Z., Barabás S., Beier C. (2008): Experimental warming does not enhance soil respiration in a semiarid temperate forest-steppe ecosystem. *Community Ecology* **9**, 27-35.
- Lellei-Kovács E.**, Kovács-Láng E., Kalapos T., Botta-Dukát Z. (2008): Soil respiration and its main limiting factors in a semiarid sand forest-steppe ecosystem – Results of a climate simulation experiment. *Cereal Research Communications* Vol. 36, 2008, Suppl., pp. 1223-1226. Proceeding of the VII. Alps-Adria Scientific Workshop, 28-30 April 2008, Stara Lesna, Slovakia.
- Bakonyi G., Nagy P., Kovacs-Lang E., **Kovacs E.**, Barabas S., Repasi V., Seres A. (2007): Soil nematode community structure as affected by temperature and moisture in a temperate semiarid shrubland. *Applied Soil Ecology* **37** (1), p.31-40.

Intézeti kiadványok

- Lelleiné Kovács E.**, Kovácsné Láng E., Botta-Dukát Z., Kalapos T., Kröel-Dulay Gy. (2011): A Kiskunság homoktalajának szénkibocsátása a klímaváltozás tükrében. (Respiration of the sandy soil of Kiskunság in the light of climate change.) In: Válogatás az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet Kutatási eredményeiből, 2011. (szerk. Mázsza K., Somay L.), ÖBKI Műhelyfüzetek 3., MTA ÖBKI, Vácrátót.
- Lelleiné Kovács E.** (2008): Főbb kérdések és megoldások a talajlégzés vizsgálatának témakörében. In: Talaj-vegetáció-klíma kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet (szerk. Kröel-Dulay Gy., Kalapos T. and Mojzes A.) pp. 135-146. MTA ÖBKI, Vácrátót.
- Lellei-Kovács E.**, Kovács-Láng E. (2008): Experimental study of the effects of climate change, the VULCAN Project: Soil respiration and N mineralization. In: The KISKUN LTER: Long-term ecological research in the Kiskunság, Hungary (eds. Kovács-Láng, E., Molnár, E., Kröel-Dulay, Gy. and Barabás, S.) pp. 51-52. Institute of Ecology and Botany, HAS, Vácrátót, Hungary.

Konferencia kiadványok, posztterek

- Kröel-Dulay Gy., **Lellei-Kovács E.**, Kovács-Láng E. (2008): Climate change and natural ecosystems. In: Katalin Török and Gergely Torda (2008): GEO BON model area for data integration: the Kiskunság region. European Contribution of GEO BON, Workshop, 25-27. September 2008, Cegléd, organised by the Biostrat FP6 project, Institute of Ecology and Botany, HAS, Vácrátót, Hungary. p. 14.
- Lellei-Kovács E.**, Kovács-Láng E., Kalapos, T., Botta-Dukát Z. (2008): Soil respiration and its main limiting factors in a semiarid sand forest-steppe ecosystem – Results of a climate simulation experiment. Poster presentation at the VII. Alps-Adria Scientific Workshop, 28-30 April 2008, Stara Lesna, Slovakia.
- Kovács-Láng E., Kröel-Dulay Gy., Czúcz B., Kertész M., Török K., **Lellei-Kovács E.** (2007): Elements of the Climate Strategy in Hungary. Exposed at ALTER-NET All Parties' Conference, Palma de Mallorca, 5-9 February 2007.
- Kovács-Láng E., Lhotsky B., **Lellei-Kovács E.**, Kröel-Dulay Gy., Kalapos T., Rajkai K., Mojzes A., Garadnai J., Barabás S. (2006): Precipitation – water availability and ecosystem functions in a sand forest steppe. EPRECOT Workshop on "effects of precipitation change on terrestrial ecosystems", Elsinore, Denmark, 22-25. May 2006.
- Kalapos T., **Lellei-Kovács E.**, Mojzes A., Barabás S., Kovács-Láng E. (2006): Ökoszisztéma válaszok egy klímaszimulációs ökológiai terepkísérletben a Duna-Tisza közén: II. A talajlégzés és a növényi anyagcseré működésének módosulása. In: A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. (Global climate change: effects and responses in Hungary.) (eds. Láng, I., Jolánkai, M. and Cséte, L.) Proceedings of the KvVM-MTA "VAHAVA" project closing conference, 9 March 2006. Posztterek a projekt zárókonferenciáján, Budapest, 2006. március 9. (oko3.pdf, pp. 1-4.). Akaprint, Budapest. (in Hungarian)
- Kalapos T., Mojzes A., **Kovács E.**, Kovács-Láng E. (2005): Ecophysiological responses to simulated climate change (drought or nocturnal warming) in a semiarid forest-steppe in Hungary. XVII International Botanical Congress, Vienna, Austria, 17-23 July 2005, Abstracts p. 516.
- Kovács-Láng E., Kröel-Dulay Gy., Lhotsky B., Garadnai J., Barabás S., **Kovács E.**, Rajkai K., Kalapos T., Tölgyesi I. (2003): Hő- és szárazságkezelés ökológiai hatásainak terepi kísérletes vizsgálata: az EU FW5 VULCAN Projekt bemutatása, 6. Magyar Ökológus Kongresszus, Gödöllő, 2003. augusztus 27-29. Előadások és Posztterek Összefoglalói: 155.

Tudományos intézetekben, konferenciákon tartott szakmai előadások

- Lellei-Kovács E.** (2011): Soil respiration responses to temperature and moisture changes in a sandy forest-steppe, 2003-2008. INCREASE workshop, 24 May 2011. Bangor, UK.
- Lelleiné Kovács E.** (2010): Effect of climate simulation experiments on soil respiration and net ecosystem exchange. Soil respiration workshop, 14 October 2010. SZIE Növényteni és Ökofiziológiai Intézete, Gödöllő.
- Lelleiné Kovács E.,** Kovácsné Láng E., Kalapos T., Botta-Dukát Z., Barabás S. (2006): Szimulált klímaváltozás hatása a talajlégzésre homoki erdőössztyepp vegetációban. Előadás 7. Magyar Ökológus Kongresszus, 2006. szeptember 4-6. Budapest. Előadások és Posztterek Összefoglalói: p.132.
- Kovács-Láng E., Kröel-Dulay G., Barabás S., Garadnai J., **Kovács E.,** Lhotsky B. (2005): Ecosystem responses in climate change experiment in the Pannonian sand forest-steppe. 48th IAVS Symposium, Abstracts p.103. 24-29 July 2005. Lisbon, Portugal.
- Kovács E.** (2004): Klímaváltozás hatása a talajlégzésre. Előadás a Magyar Tudomány Napja alkalmából, 2004. november 8. Vácrátót.
- Kalapos T., Mojzes A., **Kovács E.,** Kovácsné Láng E. (2003): Terepi kísérletes hő- és szárazságkezelés hatásai különböző funkcionális típusokat képviselő homokpusztai évelők fotoszintetikus működésére: előzetes eredmények. V. Magyarországi Fotoszintézis Konferencia és Fotoszintézis Iskola. 2003. szeptember 15-16. Noszvaj. Előadások Összefoglalói: 14.

Tudományos ismeretterjesztő munka

- Lelleiné Kovács E.** (2008): Lélegzet-visszafojtva – A klímaváltozás hatása a talaj működésére. *Élet és Tudomány*, 2008/32. pp. 1006-1007.